



The Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized From *Prunus spinosa* Fruit and Determination of Antimicrobial Effects on Some Food Pathogens

Mehmet Nuri Atalar¹, Ayşe Baran², Abdulkerim Hatipoğlu³, Mehmet Fırat Baran*⁴, Ömer Yavuz⁵, Necmettin Aktepe⁶, Cumali Keskin⁷

¹Iğdır Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Iğdır, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-2993-2605), mehmetnuriatalar@hotmail.com

²Mardin Artuklu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Bölümü (Orcid ID: 0000-0002-2317-0489) ayse.gorgcc43@gmail.com

³Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-1487-1953), abdulkerimhatipoglu@artuklu.edu.tr

⁴Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8133-6670), m.firatbaran@gmail.com

⁵Dicle Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Diyarbakır, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-5618-2881), omeryavuz21@gmail.com

⁶Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-6503-6686), necmettinaktepe@gmail.com

⁷Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Mardin, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-3758-0654), ckeskinoo@gmail.com

(International Conference on Design, Research and Development- 15 – 18 Aralık 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1040082)

ATIF/REFERENCE: Atalar, M. N., Baran, A., Hatipoğlu, A., Baran, M. F., Yavuz, Ö., Aktepe, N. & Keskin, C. (2021). *Prunus spinosa* Meyvesinden Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin Karakterizasyonu ve Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Etkilerinin Belirlenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (32), 298-305.

Abstract

In this study, silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using *Prunus spinosa* (PS) fruit extract in an easy, low-cost and environmentally friendly way. According to the Ultraviolet (UV)-visible Spectrophotometer analysis data, the nanocrystals showed a characteristic peak at 438.3 nm. Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), and Atomic Force Microscopy (AFM) analyzes revealed that the morphological structures of the biosynthesized AgNPs were spherical. According to the results of XRD analysis, it was determined that the crystal structures of AgNPs were cubic. The size of the nanoparticles was calculated as 29,34 nm by the Debye-Scherrer equation. The zeta size of the synthesized nanomaterial was measured as 117.4 nm. Inhibitory effects of AgNPs on food pathogens *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922 and *Candida albicans* were revealed by the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) method.

Keywords: AFM, Food pathogens, FT-IR, TEM, XRD.

Prunus spinosa Meyvesinden Sentezlenen Gümüş Nanopartiküllerin Karakterizasyonu ve Bazı Gıda Patojenleri Üzerindeki Antimikrobiyal Etkilerinin Belirlenmesi

Öz

Bu çalışmada, gümüş nanopartiküller (AgNP'ler) *Prunus spinosa* (PS) meyve özütü kullanılarak kolay, düşük maliyetli ve çevre dostu bir şekilde sentezlendi. Ultraviyole (UV)-görünür Spektrofotometre analiz verilerine göre, nanokristaller 438.3 nm'de karakteristik bir tepe noktası gösterdi. Alan Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ve Atomik Güç Mikroskopisi (AFM) analizleri, biyosentezlenen AgNP'lerin morfolojik yapılarının küresel olduğunu ortaya koydu. XRD analizi sonuçlarına göre AgNP'lerin kristal yapılarının kübik olduğu belirlendi. Nanopartiküllerin boyutu, Debye-Scherrer denklemi ile 29,34 nm olarak hesaplandı. Sentezlenen nanomalzemenin zeta boyutu 117.4 nm olarak ölçülmüştür. AgNP'lerin gıda patojenleri olan *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Escherichia coli* ATCC25922 ve *Candida albicans* üzerindeki inhibisyon etkileri Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) yöntemiyle ortaya konuldu.

Anahtar Kelimeler: AFM, Gıda patojenleri, FT-IR, TEM, XRD.

1. Giriş

Nanoteknolojideki gelişmelere paralel bir şekilde metal nanopartiküllere olan ilgi son yıllarda oldukça artmıştır (Jamkhande ve ark., 2019; Aktepe ve Baran, 2021a; Saravanan ve ark., 2021). Metal nanopartiküller gıdalarda antimikrobiyal ajan olarak değerlendirilirken, teşhis, biyobelirteç, hücre etiketleme, kanser tedavisi, ilaç dağıtımı ve su arıtma uygulamalarında da değerlendirilmeye başlanmıştır (Baran ve ark., 2021; Mousavi ve ark. 2018; Kumari ve ark., 2019; Akintelu ve Folorunso 2020; Kowsalya ve ark., 2021).

Nanopartiküller kimyasal indirgeme, elektrokimyasal indirgeme, fizikokimyasal indirgeme, fotokimyasal indirgeme gibi farklı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle üretilebilmektedir (Iravani ve ark., 2014; Yadi ve ark., 2018). Ancak bu yöntemler, toksik kimyasallar veya biyolojik olarak parçalanamayan ajanların kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Jayaprakash ve ark., 2017; Banderia ve ark., 2020).

Bu nedenle geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dezavantajları ortadan kaldırmak için çevreyi kirletmeyen, hızlı, düşük maliyetli “yeşil sentez” prosedürleri ile nanopartiküllerin üretilmesi daha çok tercih edilmektedir (Badeggi ve ark., 2020; Bandeira ve ark., 2020). Bu bağlamda, söz konusu nanomalzemelerin bakteriler (Javaid ve ark., 2017), mantarlar (Molnár ve ark., 2018), algler (Parial ve ark., 2012), bitkiler (Aktepe ve ark., 2021; Aktepe ve Baran, 2021b), deniz yosunları (Chellamuthu ve ark. 2019) ve virüsler (Mohmed ve ark., 2017) gibi doğal kaynaklardan sentezlenmesine yönelik bilimsel çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Nanopartiküllerin biyosentezi yapılırken en sık kullanılan metaller çinko (Selim ve ark., 2020), altın (Keskin ve ark., 2021; Baran ve ark., 2020; Hatipoğlu, 2021a; Hatipoğlu, 2021b), gümüş (Atalar ve ark., 2021; Baran, 2019a; Baran, 2019b; Umaz ve ark., 2019; Hatipoğlu, 2021c;), nikel (Ezhilarasi ve ark., 2020), demir (Katata-Seru ve ark., 2018), platin (Naseer ve ark. 2020), selenyum (Abu- Elghait ve ark., 2021), titanyum (Baran ve ark., 2019) ve palladyumdur (Xiong ve ark., 2020).

Özellikle AgNP'ler, küçük boyutları nedeniyle hücre zarı proteinlerine bağlanıp bakteri hücrelerinde reaktif oksijen türlerinin oluşumunu katalize etmektedirler. Böylece oksidatif stres nedeniyle hücre ölümüne neden olmaktadır (Hoseinejad ve ark. 2017; Alkhalaf ve ark. 2020). Diğer taraftan bitki ekstraktında bulunan birçok bileşik (örneğin, polifoller, askorbik asitler, flavonoidler, terpenoidler ve proteinler) de doğal antimikrobiyal özelliklere sahiptir (Garibo ve ark., 2020).

Bu çalışmada güvem *Prunus spinosa* (PS) meyvesinden gümüş nanopartiküller sentezlendi. Güvem, Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde (özellikle akdeniz, kuzey, batı ve kuzeybatı Anadolu'da) yetişen yabani bir meyvedir (Demir ve ark., 2002). Çalışmada AgNO₃ sulu çözeltisi PS meyve özütü ile indirgenerek AgNP'lerin biyosentezi ve stabilizasyonu sağlandı. Sentezlenen AgNP'lerin karakterizasyonu yapılarak gıda patojenlerine karşı antimikrobiyal aktiviteleri ortaya konuldu.

2. Materyal ve Metot

2.1. Meyve, Kimyasallar ve Mikroorganizmalar

Çalışmada kullanılan PS meyveleri Ekim ayında Balıkesir'in Gömeç ilçesinden temin edildi. AgNO₃ (%99.8

saflık), vankomisin, flukonazol ve kolistin Sigma Aldrich'ten satın alındı. AgNP'lerin antimikrobiyal aktiviteleri için *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* ve *Candida albicans* kullanıldı.

2.2. Meyve Özütünün Elde Edilmesi

Prunus spinosa (PS) meyveleri distile su ile iyice yıkandı ve oda koşullarında kurutuldu. 50 g kurutulmuş yaprak ile 300 ml distile su karıştırılarak kaynatıldı. Özüt oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Daha sonra Whatman 1 No.'lu filtre kağıdı ile süzülme ve AgNP'lerin sentezi için +4 °C'deki buzdolabında muhafaza edildi.

2.3. Nanopartiküllerin Sentezi

AgNP'lerin sentezi için katı AgNO₃ ile 5 mM AgNO₃ sulu çözeltisi hazırlandı. Özüt ve AgNO₃ bir cam kap içerisinde 5:3 oranında oda sıcaklığında reaksiyona bırakıldı. AgNP'lerin oluşumu, renk değişimine bağlı olarak farklı zaman aralıklarında (5, 10 ve 15 dakika) UV-vis spektroskopi dalga boyu taraması ile belirlendi (Pugazhendhi ve ark. 2018). Reaksiyondan sonra koyu renkli çözelti santrifüjlendi (6000 rpm, 5 dakika). Santrifüjleme sonunda elde edilen katı fraksiyon, birkaç kez damıtılmış su ile yıkandı ve nihai tortu (AgNP'ler), 72 saat boyunca 60 °C'de bir fırında kurutuldu. Daha sonra kuru kısım bir havan ve tokmak kullanılarak toz haline getirildi.

2.4. Karakterizasyon

Sentezlenen AgNP'lerin UV-vis spektrumları, 300-800 nm dalga boyu aralığında bir spektrofotometrede (Agilent CARY 60) tanımlandı. AgNP'lerin boyut, morfoloji, kristal yapı, yüzey dağılım ve zeta boyutu değerleri FE-SEM (Quanta FEG240), TEM (JOEL 1010), XRD (Rad B-DMAX II), EDX (Quanta FEG 240) AFM gözlemi, Tarama Probu Mikroskobu PARK 10 sistemi ve Zetasizer (Malvern Ins.Ltd.) ile ortaya konuldu. AgNP'lerin kristal boyutu Debye-Scherrer denkleminde ($D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$) (Baran ve ark., 2018; Baran A., 2021) göre hesaplandı.

Bitki ekstraktında bulunan fonksiyonel gruplar ile reaksiyon sonundaki indirgemeden sorumlu fonksiyonel grupları belirlemek için FT-IR (Agilent Cary 630) kullanıldı.

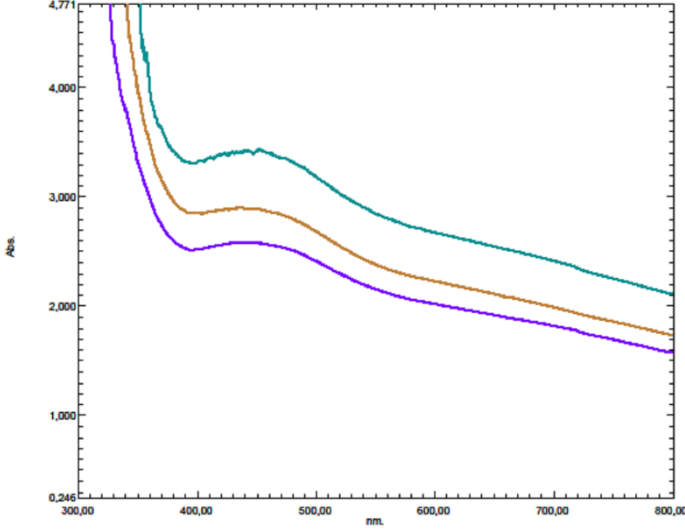
2.5. Antimikrobiyal Aktivite

AgNP'lerin gram negatif (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* ATCC 25922) ve gram pozitif (*Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Bacillus subtilis*) bakteriler ile *Candida albicans* üzerindeki MIC'leri, bir 96 kuyucuklu mikrotitre plakası kullanılarak mikrodilüsyon yöntemiyle belirlendi. Kuyucuklara bakteri için Mueller Hinton Broth ve maya için RPMI (Hücre Kültüründe Kullanılan Büyüme Ortamı) eklendi. Besiyeri ve mikroorganizmaları içeren mikroplakalara AgNP'lerin solüsyonu eklendi. Bu kuyucuklardan her seferinde 100 µL alınarak bir sonraki kuyucuğa aktarıldı. Daha sonra 0.5 McFarland'a göre hazırlanan ve ayarlanan mikroorganizma solüsyonlarından belirli bir miktar mikroplakalara ilave edildi. 37 °C'de 24 saat inkübe edildi. İnkübasyondan sonra üreme olmayan en düşük konsantrasyon MİK değeri olarak belirlendi (Elshikh ve ark. 2016). Ayrıca, AgNP'lerin *S. aureus*, *B. subtilis*, *P. Aeruginosa*, *E. coli* ve *C. albicans* üzerindeki antimikrobiyal etkilerini karşılaştırmak için ticari antibiyotiklerden vankomisin, kolistin ve flukonazol ile 5 mM AgNO₃ çözeltisi kullanıldı.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. UV-görünür Spektroskopik Analiz

UV-vis. spektroskopisinde 300-800 nm dalga boyu taramaları yapıldı. AgNP'lerin UV-vis spektrumlarının yeşilden mora doğru değiştiği görülmektedir (Şekil 1). Söz konusu spektrumlara göre, AgNP'lerin yaklaşık 438.3 nm de maksimum absorpsiyon vermiştir. Farklı bitkilerle yapılan araştırmalarda AgNP'lerin absorpsiyon spektrumunun yüzey plazmon rezonansı nedeniyle 417 ile 462 nm arasında olduğunu bildirmiştir (Swamy ve ark. 2015; Paosen ve ark., 2017; Eren ve Baran 2019; Aktepe, 2021; Hatipoğlu, 2021c).

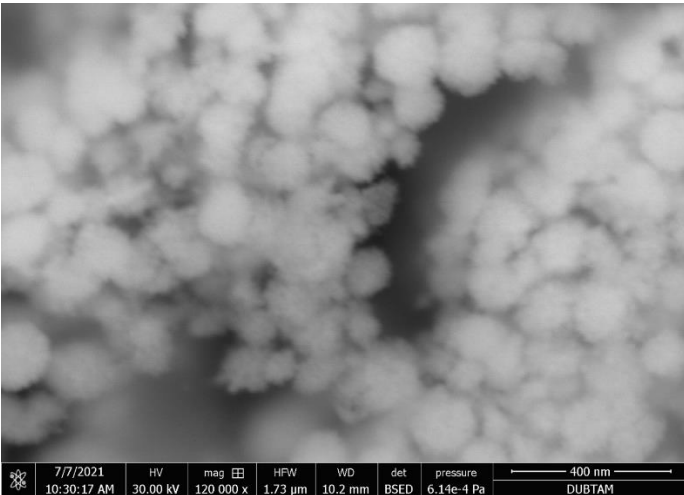


Şekil 1. Biyosentezi yapılan AgNP'lerin UV-vis absorpsiyon spektrumları

Figure 1. UV-vis absorption spectra of biosynthesized AgNPs

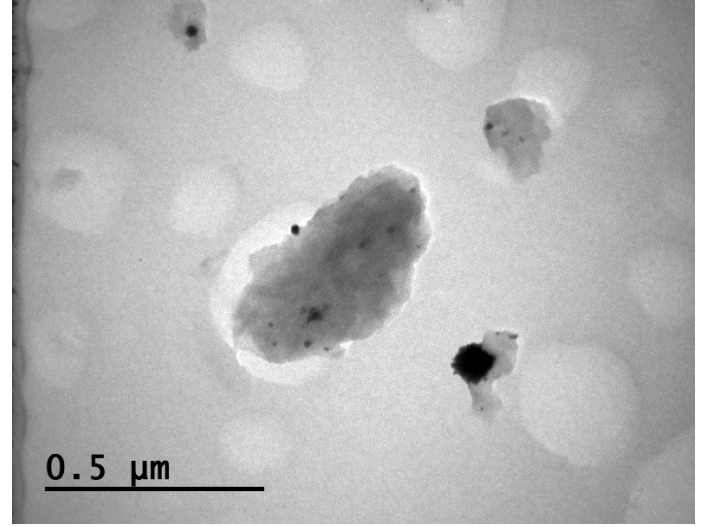
3.2. FE-SEM ve TEM Analizleri

FE-SEM ve TEM görüntülerinin sonuçları, AgNP'lerin çoğunlukla küresel morfolojiye sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 2-3). AgNP'lerle ilgili çalışma yapan farklı araştırmacılar da söz konusu nanopartiküllerin büyük oranda küresel formda olduğu bildirmişlerdir (Pallela ve ark. 2018; Baran, 2019b; Maity ve ark., 2020).



Şekil 2. CA-AgNP'lerin FE-SEM görüntüsü

Figure 2. FE-SEM image of PS-AgNPs

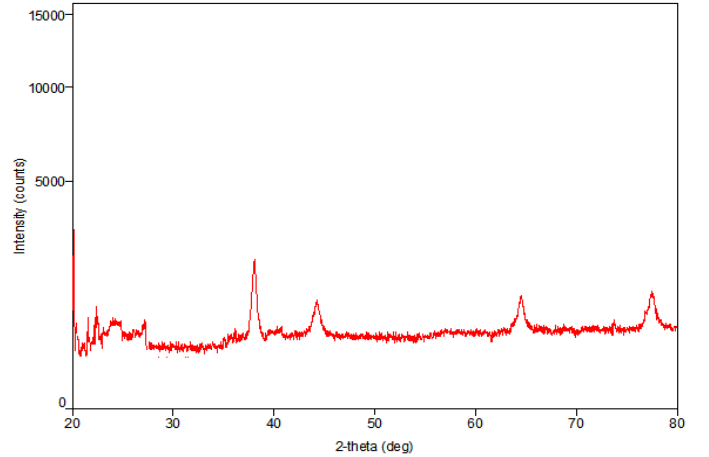


Şekil 3. PS-AgNP'lerin TEM görüntüsü

Figure 3. TEM image of CA-AgNPs

3.3. XRD Analizi

Biyosentezi yapılan AgNP'lerin XRD spektrum modeline göre, 2θ 'da sırasıyla 38.018, 44.20, 64.43 ve 77.572 ile çıkan 111°, 200°, 220° ve 311° pikleri gümüşün küresel kristal yapısını temsil eden keskin piklerdir (Şekil 4). Pikler AgNP'lerin kübik yapıda olduklarını göstermektedir (Singh ve ark., 2017; Huang ve ark., 2019). En yüksek pik olan 38.018 tepe açısı olarak alındı ve Debye-Scherrer denklemi (Baran ve ark., 2018; Baran, A., 2021) yardımıyla nanomalzemelerin boyutu 29,34 nm olarak hesaplandı.

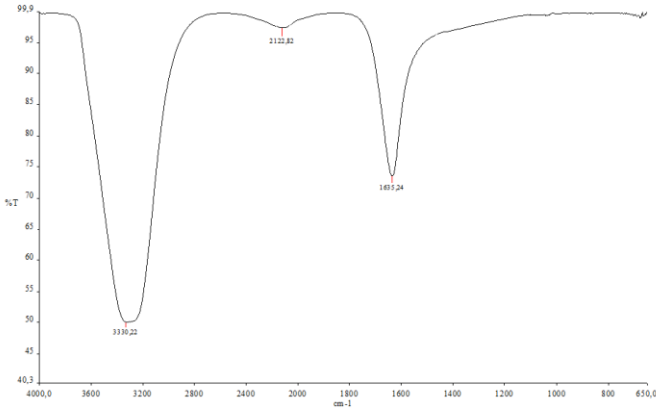


Şekil 4. Sentezlenen AgNP'lerin XRD desenleri

Figure 4. XRD patterns of synthesized AgNPs

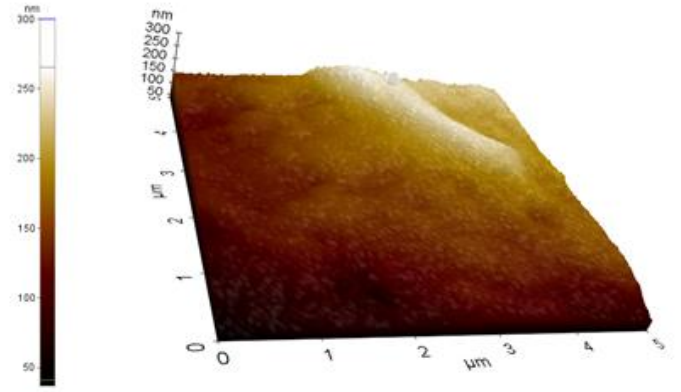
3.4. FT-IR Analizi

FT-IR spektroskopisi ile indirgemede rol alan fonksiyonel gruplar belirlenebilmektedir. Şekil 5 sulu PS meyve özütüne, Şekil 6 ise sentezlenmiş AgNP'lere ait FT-IR spektrumlarını göstermektedir.



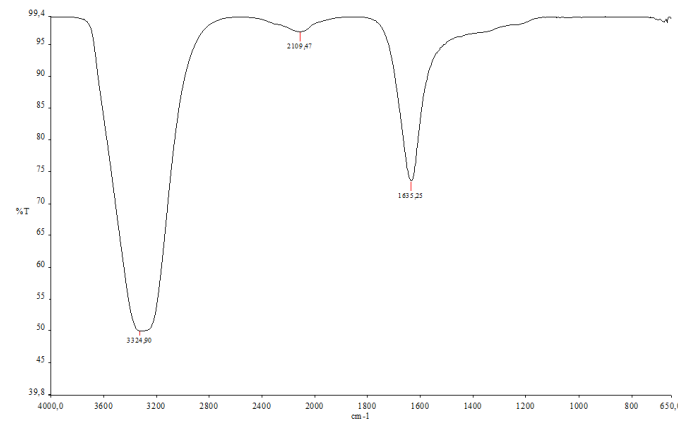
Şekil 5. PS meyve özütünün FT-IR spektrumu

Figure 5. FT-IR spectrum of PS fruit extract



Şekil 7. CA-AgNP'lerin AFM görüntüsü

Figure 7. AFM image of PS-AgNPs



Şekil 6. Sentezlenmiş PS-AgNP'lerin FT-IR spektrumu

Figure 6. FT-IR spectrum of synthesized PS-AgNPs

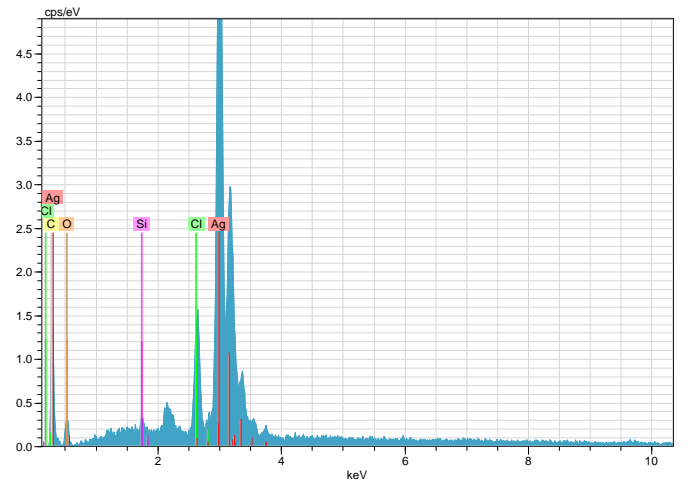
AgNP'lerin oluşumu sırasında indirgemedenden sorumlu olan biyomoleküller incelendiğinde (Şekil 6), 1635 cm^{-1} 'deki absorpsiyon zirvesi, karbonil ($\text{C}=\text{O}$) gerilme titreşimleri nedeniyle ortaya çıkan amid I olarak tanımlanabilir (Aromal ve ark. 2012). 3324 cm^{-1} 'deki absorpsiyon zirvesinin O-H ve N-H gerilmesine, 2122 cm^{-1} 'deki absorpsiyon zirvesinin ise C-C gruplarına ait olduğu söylenebilir.

3.5. AFM Analizi

AgNP'lerin üç boyutlu topografik görüntüleri atomik kuvvet mikroskopisi yardımıyla elde edildi. Nanomalzemelerin şekil ve boyut dağılımı yarı temas modunda hat analizi ölçümü ve 3D metodu ile yapısının dağılımı gözlemlendi (Şekil 7). Partiküllerin çoğunun 50 nm boyutlarında ve şekillerinin küresel olduğu tespit edilmiştir.

3.6. EDX ve Zeta Boyut Analizi

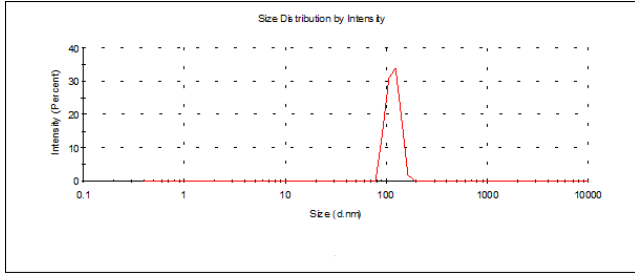
Güvem *Prunus spinosa* (PS) meyvesinden sentezlenen AgNP'lerin EDX analizinde saf gümüşün varlığı ortaya konuldu (Şekil 8).



Şekil 8. EDX analizi ile AgNP'lerin elemental bileşimi

Figure 8. Elemental composition of AgNPs by EDX analysis

Elde edilen gümüşün elemental bileşiminin yüksek olduğu görülmektedir. Yüzey plazmon rezonansı nedeniyle, gümüş nanopartiküller, yaklaşık 2,89 KeV'de tipik bir optik absorpsiyon zirvesi sergilemiştir. Akintelu ve ark. (2019) ile Fatema ve ark. (2019) da kendi çalışmalarında EDX gümüş piklerini ortaya koymuşlardır. EDX profilindeki karbon, silisyum, klor ve oksijen gibi zayıf sinyallerin, nanopartiküllerin yüzeyinde bulunan fitokimyasallardan kaynaklandığı silisyumun kaynağının ise öğütme işleminden kaynaklandığı söylenebilir. Diğer taraftan zeta boyut analizi ile (Şekil 9), AgNP'lerin parçacık boyutunun 117.4 nm olduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 9. AgNP'lerin zeta boyut analizi

Figure 9. Zeta size analysis of AgNPs

3.7. Antimikrobiyal Aktivitenin Değerlendirilmesi

Escherichia coli, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* gıda kaynaklı hastalıklarda sıklıkla karşılaşılan patojen mikroorganizmalardır (Hitosugi ve ark. 2015; Monente ve ark. 2015; Yang ve ark. 2017; Mostafa ve ark. 2018). AgNO₃ ve antibiyotiklerle karşılaştırıldığında, biyosentezlenen AgNP'lerin

düşük konsantrasyonlarda bile bu mikroorganizmaların büyümesini önemli ölçüde engellediği gözlemlendi (Tablo 1). AgNP'lerin diğer mikroorganizmalara oranla *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans*'ı daha fazla baskıladığı tespit edildi.

Gümüş, bakteri hücre duvarında bulunan fosfor ve kükürt atomu ile etkileşime girme konusunda güçlü bir eğilime sahip olduğundan, bakteri hücre zarındaki tiyol ve fosfor grupları ile etkileşerek bakteride solunum sürecini bozar. Bu durum bakterilerin ölümüne neden olur (Hamouda ve Baker, 2000).

Diğer taraftan gram-pozitif bakterilerin hücre duvarı, gram-negatif bakterilerde bulunmayan sert bir polisakarit tabakasına sahip olduğu için gram pozitif bakteri duvarına geçişler daha zor gerçekleşmektedir. Bu nedenle AgNP'lerin inhibitör aktivitesi gram negatif bakterilere göre gram pozitif bakterilerde daha güçlüdür (Tamboli ve Lee, 2013). AgNP'lerin gram pozitif ve gram negatif bakteriler ile mayalar üzerindeki inhibe edici etkileri farklı araştırmacıların çalışmalarında da gösterilmiştir (Ghaedi ve ark., 2015; Nikejad ve ark., 2015; Hemmati ve ark., 2018; Aygün ve ark., 2020).

Tablo 1. AgNP'ler, AgNO₃ ve antibiyotiklerin gıda patojenleri MİK değerleri (mg/mL)Table 1. Food pathogen MIC values of AgNPs, AgNO₃ and antibiotics (mg/mL)

Patojenler	AgNP'ler	AgNO ₃	Antibiyotik
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 29213	0.0312	2.65	2
<i>Bacillus subtilis</i>	0.1250	1.32	1
<i>Escherichia coli</i> ATCC25922	0.500	0.66	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.250	1.32	4
<i>Candida albicans</i>	0,0156	0.66	2

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, *Prunus spinosa* (PS) meyve özütü kullanılarak hızlı, düşük maliyetli ve çevre dostu bir şekilde AgNP'lerin sentezi gerçekleştirildi. Çalışma sırasında hiçbir toksik veya tehlikeli madde kullanılmadı. UV-vis absorpsiyon, XRD ve EDX analizleri AgNP'lerin sentezini doğruladı. FE-SEM, TEM, Zeta potansiyeli ve AFM görüntüleri, AgNP'lerin çoğunlukla küresel olduğunu ortaya koydu. Sentezlenen AgNP'lerin çok düşük konsantrasyonlarda bile güçlü antibakteriyel ve antikandidal aktiviteye sahip olduğu görüldü. Söz konusu güçlü antimikrobiyal etkileri nedeniyle gıda sanayiinde, özellikle ambalajlarda nanopartiküllerin kullanılmasının uygun bir tercih olabileceği düşünülmektedir.

Kaynaklar

Abu-Elghait, M., Hasanin, M., Hashem, A. H., & Salem, S. S. (2021). Ecofriendly novel synthesis of tertiary composite based on cellulose and myco-synthesized selenium nanoparticles: Characterization, antibiofilm and biocompatibility. *International Journal of Biological*

Macromolecules, 175, 294-303. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.02.04.

Akintelu, S.A. & Folorunso, A.S. (2020). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant extracts and its biomedical applications. *BioNanoSci.* 10, 848-863. <https://doi.org/10.1007/s12668-020-00774-6>.

Aktepe, N. (2021). Gümüş nano materyallerin sentezi, karakterizasyonu ve antimikrobiyal aktiviteleri. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 347-354.

Aktepe, N., Baran, A., Atalar, M. N., Baran, M. F., Düz, M. Z., Yavuz, Ö., İrtegün Kandemir, S. & Kavak, D. E. (2021). Biosynthesis of Black Mulberry Leaf Extract and Silver NanoParticles (AgNPs): Characterization, Antimicrobial and Cytotoxic Activity Applications. *MAS Journal of Applied Sciences*, 8(8), 685-700. <https://doi.org/10.52520/masjaps.120>

Aktepe, N. & Baran, A. (2021b). Fast and low cost biosynthesis of AgNPs with almond leaves: medical applications with biocompatible structures. *Progress in Nutrition*, 23(3), e2021271.

Alkhalaf, M.I., Hussein, R.H. & Hamza, A. (2020) Green synthesis of silver nanoparticles by *Nigella sativa* extract

- alleviates diabetic neuropathy through anti-inflammatory and antioxidant effects. *Saudi J Biol Sci*, 27(9), 2410-2419.
- Aromal, S.A., Vidhu, V.K., Philip, D. (2012). Green synthesis of well-dispersed gold nanoparticles using *Macrotyloma uniflorum*. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 85(1), 99-104.
- Aygün, A., Özdemir, S., Gülcan, M., Cellat, K. & Şen, F. (2020). Synthesis and Characterization of Reishi Mushroom-mediated Green Synthesis of Silver Nanoparticles for the Biochemical Applications. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 178, 112970. doi: 10.1016/j.jpba.2019.112970
- Atalar, M. N., Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Aktepe, N., Yavuz, Ö. & İrtegin Kandemir, S. (2021). Economic fast synthesis of olive leaf extract and silver nanoparticles and biomedical applications. In *Particulate Science and Technology*. 1–9. doi: 10.1080/02726351.2021.1977443.
- Badeggi, U.M., Ismail, E., Adeloye, A.O., Botha, S., Badmus, J.A., Marnewick, J.L., Cupido, J.N., Hussein & A. A. (2020). Green Synthesis of Gold Nanoparticles Capped with Procyanidins from *Leucosidea sericea* as Potential Antidiabetic and Antioxidant Agents. *Biomolecules*, 10(3), 452. doi: 10.3390/biom10030452.
- Bandeira, M., Giovanela, M., Roesch-Ely, M., Devine, D.M. & da Silva Crespo, J. (2020). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review of the synthesis methodology and mechanism of formation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 15, 100223. doi: 10.1016/j.scp.2020.100223.
- Baran, A. (2021). Gümüş nano malzemelerin çevre dostu, hızlı sentezi ve biomedikal uygulamaları. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 12(2), 329-336.
- Baran, A., Baran, M. F., Keskin, C., Kandemir, S. I., Valiyeva, M., Mehraliyeva, S., Khalilov, R. & Eftekhari, A. (2021). Ecofriendly/Rapid Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Waste Parts of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) and Evaluation of their Cytotoxic and Antibacterial Activities. *Journal of Nanomaterials*. 1–10). doi: 10.1155/2021/2270472.
- Baran, M. F., Acay, H. & Keskin, C. (2020). Determination of Antimicrobial and Toxic Metal Removal Activities of Plant-Based Synthesized (*Capsicum annuum* L. Leaves), Ecofriendly, Gold Nanomaterials. *Global Challenges*, 4(5), 1900104. doi: 10.1002/gch2.201900104 .
- Baran, M. F. (2019a). Synthesis, Characterization and Investigation of Antimicrobial Activity Of Silver Nanoparticles From *Cydonia oblonga* Leaf. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2): 2583-2592. doi: 10.15666/aeer/1702_25832592.
- Baran, M. F. (2019b). Synthesis, Characterization And Investigation of Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles From *Cydonia oblonga* leaf. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 2583-2592.
- Baran, M. F., Acay, H., Keskin, C., Aygün, H. & Yıldırım, A. (2019). Synthesis and Determination of Antimicrobial Properties of TiO₂NPs Using *Nigella sativa* L. Extract. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural Medical Sciences*, 7, 69-75.
- Baran, M.F., Koç, A. & Uzan, S. (2018). (Synthesis, Characterization and Antimicrobial Applications of Silver Nanoparticles (AgNPs) with Kenger (*Gundelia tournefortii*) Leaf). *International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 5, 44-52.
- Chellamuthu, C., Balakrishnan, R., Patel, P., Shanmuganathan, R., Pugazhendhi, A. & Ponnuchamy, K. (2019). Gold nanoparticles using red seaweed *Gracilaria verrucosa*: Green synthesis, characterization and biocompatibility studies. *Process Biochemistry*, 80: 58-63. doi: 10.1016/j.procbio.2019.02.009.
- Demir, F., Doğan, H., Özcan, M. & Haciseferoğullari, H. (2002). Nutritional and physical properties of hackberry (*Celtis australis* L.). *Journal of Food Engineering*, 54(3), 241-247. doi:10.1016/s0260-8774(01)00210-2.
- Elshikh, M., Ahmed, S., Funston, S., Dunlop, P., McGaw, M., Marchant, R. & Banat, I. M. (2016). Resazurin-based 96-well plate microdilution method for the determination of minimum inhibitory concentration of biosurfactants. *Biotechnol Lett*, 38(6), 1015-1019.
- Eren, A. & Baran, M. F. (2019). Green Synthesis, Characterization and Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles (AgNPs) From Maize (*Zea Mays* L.). *Appl Ecol Environ Res*, 17(2), 4097-4105.
- Ezhilarasi, A. A., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Zhang, X. & Kennedy, L. J. (2020). Green synthesis of nickel oxide nanoparticles using *Solanum trilobatum* extract for cytotoxicity, antibacterial and photocatalytic studies. *Surfaces and Interfaces*, 20, 100553. doi:10.1016/j.surfin.2020.100553.
- Fatema, S., Shirsat, M., Farooqui, M. & Arif, P.M. (2019). Biosynthesis of Silver nanoparticle using aqueous extract of *Saraca asoca* leaves, its characterization and antimicrobial activity. *International Journal of Nano Dimension*, 10(2), 163-168.
- Garibo, D., Borbón-Núñez, H.A., de León, J.N.D. et al. (2020). Green synthesis of silver nanoparticles using *Lysiloma acapulcensis* exhibit high-antimicrobial activity. *Sci Rep*, 10, 12805. doi: 10.1038/s41598-020-69606-7.
- Ghaedi, M., Yousefinejad, M., Safarpour, M., Khafri, H. Z. & Purkait, M. K. (2015). Rosmarinus officinalis leaf extract mediated green synthesis of silver nanoparticles and investigation of its antimicrobial properties. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 167-172. doi: 10.1016/j.jiec.2015.06.020
- Hamouda, T. & Baker, J. (2000). Antimicrobial mechanism of action of surfactant lipid preparations in enteric Gram-negative bacilli. *J Appl Microbiol*, 89(3), 397-403.
- Hatipoğlu, A. (2021a). Green synthesis of gold nanoparticles from *Prunus cerasifera pissardii nigra* leaf and their antimicrobial activities on some food pathogens. *Progr Nutr* 23(3), e2021241. doi: 10.23751/pn.v23i3.11947.
- Hatipoğlu, A. (2021b). Rapid green synthesis of gold nanoparticles: synthesis, characterization, and antimicrobial activities. *Progress in Nutrition*, 23(3), e2021242. <https://doi.org/10.23751/pn.v23i3.11988>
- Hatipoğlu, A. (2021c). *Abelmoschus esculentus* yaprağı kullanılarak gümüş nanopartiküllerin yeşil sentezi ve bazı gıda patojenleri üzerindeki antimikrobiyal etkileri. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 22(2), 239-246. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.971246>
- Hemmati, S., Rashtiani, A., Zangeneh, M. M., Mohammadi, P., Zangeneh, A. & Veisi, H. (2018). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Fritillaria* flower extract and their antibacterial activity against some human pathogens, *Polyhedron*, 158, 8-14. doi: 10.1016/j.poly.2018.10.049

- Hitosugi, M., Hamada, K. & Misaka, K. (2015). Effects of *Bacillus subtilis* var. natto products on symptoms caused by blood flow disturbance in female patients with lifestyle diseases. *Int J Gen Med*, 8, 41-46.
- Hoseinejad, M., Jafari, S. M. & Katouzian, I. (2017). Inorganic and metal nanoparticles and their antimicrobial activity in food packaging applications. *Crit Rev Microbiol*, 44(2), 161-181.
- Huang, X., Wang, R., Jiao, T., Zou, G., Zhan, F., Yin, J., Zhang, L., Zhou, J. & Peng, Q. (2019). Facile Preparation of Hierarchical AgNP-Loaded MXene/Fe₃O₄/ Polymer Nanocomposites by Electrospinning with Enhanced Catalytic Performance for Wastewater Treatment. *ACS Omega*, 4, 1897-1906.
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S.V. & Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical and biological methods. *Research in Pharmaceutical Sciences*, 9(6), 385-406.
- Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H. & Kalaskar, M.G. (2019). Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53, 101174. doi:10.1016/j.jddst.2019.101174.
- Javid, A., Oloketuyi, S. F., Khan, M. M. & Khan, F. (2017). Diversity of Bacterial Synthesis of Silver Nanoparticles. *BioNanoScience*, 8(1), 43-59. doi: 10.1007/s12668-017-0496-x.
- Jayaprakash, N., Vijaya, J. J., Kaviyarasu, K., Kombaiyah, K., Kennedy, L. J., Ramalingam, R. J., Munusamy M. A. & Al-Lohedan, H. A. (2017). Green synthesis of Ag nanoparticles using Tamarind fruit extract for the antibacterial studies. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 169, 178-185. doi:10.1016/j.jphotobiol.2017.03.013.
- Katata-Seru, L., Moremedi, T., Aremu, O. S. & Bahadur, I. (2018). Green synthesis of iron nanoparticles using *Moringa oleifera* extracts and their applications: Removal of nitrate from water and antibacterial activity against *Escherichia coli*. *Journal of Molecular Liquids*, 256, 296-304. doi:10.1016/j.molliq.2017.11.093.
- Keskin, C., Atalar, M. N., Baran, M. F. & Baran, A. (2021). Environmentally Friendly Rapid Synthesis of Gold Nanoparticles from *Artemisia absinthium* Plant Extract and Application of Antimicrobial Activities. *Journal of the Institute of Science and Technology* .11 (1), 365-375. doi: 10.21597/jist.779169.
- Kowsalya, E., Mosachristas, K., Balashanmugam, P., Manivasagan, V., Devasena, T. & Jaqueline, C.R.I. (2021). Sustainable use of biowaste for synthesis of silver nanoparticles and its incorporation into gelatin-based nanocomposite films for antimicrobial food packaging applications. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), e13641. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13641>.
- Kumari, P., Alam, M. & Siddiqi, W. A. (2019). Usage of nanoparticles as adsorbents for waste water treatment: An emerging trend. *Sustainable Materials and Technologies*, 22, e00128.
- Maity, G. N., Maity, P., Choudhuri, I., Sahoo, G. C., Maity, N., Ghosh, K., Bhattacharyya, N., Dalai, S. & Mondal, S. (2020). Green synthesis, characterization, antimicrobial and cytotoxic effect of silver nanoparticles using arabinoxylan isolated from Kalmegh. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1025-1034.
- Mohmed, A. A., Saad, E., Fouda, A., Elgamel, M. S. & Salem, S. S. (2017). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using *Aspergillus* sp. and evaluation of their antibacterial and cytotoxicity. *Journal of Applied Life Sciences International*, 11(2), 1-12. doi: 10.9734/JALSI/2017/33491.
- Molnár, Z., Bóday, V., Szakacs, G., Erdélyi, B., Fogarassy, Z., Sáfrán, G., Varga, T., Kónya, Z., Tóth-Szeles, E., Szűcs, R. & Lagzi, I. (2018). Green synthesis of gold nanoparticles by *thermophilic filamentous* fungi. *Scientific Reports*, 8, 3943. doi: 10.1038/s41598-018-22112-3.
- Monente, C., Bravo, J., Vitas, A.I., Arbillaga, L., De Peñ, M.P. & Cid, C. (2015). Coffee and spent coffee extracts protect against cell mutagens and inhibit growth of food-borne pathogen microorganisms. *Journal of Functional Foods*, 12, 365-374. doi: 10.1016/j.jff.2014.12.006
- Mostafa, A. A., Al-Askar, A. A., Almaary, K.S., Dawoud, T. M., Sholkamy, E.N. & Bakri, M. M. (2018). Antimicrobial activity of some plant extracts against bacterial strains causing food poisoning diseases. *Saudi J Biol Sci*, 25(2), 361-366.
- Mousavi, S. M., Hashemi, S. A., Ghasemi, Y., Atapour, A., Amani, A. M., Dashtaki, A. S., Babapoor, A. & Arjmand, O. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles toward bio and medical applications: review study. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46, 855-872.
- Naseer, A., Ali, A., Ali, S., Mahmood, A., Kusuma, H. S., Nazir, A., Yaseen, M., Khan, M.I., Ghaffar, A., Abbas, M. & Iqbal, M. (2020). Biogenic and eco-benign synthesis of platinum nanoparticles (Pt NPs) using plants aqueous extracts and biological derivatives: environmental, biological and catalytic applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 9093-9107. doi:10.1016/j.jmrt.2020.06.013.
- Niknejad, F., Nabili, M., Daie Ghazvini, R. & Moazeni, M. (2015). Green synthesis of silver nanoparticles: Advantages of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model. *Current medical mycology*, 1(3), 17-24. doi: 10.18869/acadpub.cmm.1.3.17
- Pallela, P. N. V. K., Ummey, S., Ruddaraju, L.K., Pammi, S. V. N. & Yoon, S.G. (2018). Ultra Small, mono dispersed green synthesized silver nanoparticles using aqueous extract of *Sida cordifolia* plant and investigation of antibacterial activity. *Microbial Pathogenesis*, 124, 63-69.
- Paosen, S., Saising, J., Wira Septama, A. & Piyawan Voravuthikunchai, S. (2017). Green synthesis of silver nanoparticles using plants from Myrtaceae family and characterization of their antibacterial activity. *Materials Letters*, 209, 201-206. doi:10.1016/j.matlet.2017.07.102.
- Parial, D., Patra, H. K., Dasgupta, A. K. & Pal, R. (2012). Screening of different algae for green synthesis of gold nanoparticles. *European Journal of Phycology*, 47(1), 22-29. doi:10.1080/09670262.2011.653406.
- Pugazhendhi, S., Palanisamy, P. K. & Jayavel, R. (2018). Synthesis of highly stable silver nanoparticles through a novel green method using *Mirabilis jalapa* for antibacterial, nonlinear optical applications. *Opt Mater*, 79: 457-63.
- Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D.-V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P. R. & George, C. S. (2021). A Review on Biosynthesis of Metal Nanoparticles and its Environmental Applications. *Chemosphere*, 264 (2), 128580. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.12.

- Selim, Y. A., Azb, M. A., Ragab, I. & Abd El-Azim, M. H. M. (2020). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of *Deverra tortuosa* and their Cytotoxic Activities. *Sci Rep*, 10, 3445. doi: 10.1038/s41598-020-60541-1.
- Singh, A. K., Tiwari, R., Kumar, V., Singh, P., Riyazat Khadim, S. K., Tiwari, A., Srivastava, V., Hasan, S.H. & Asthana, R. K. (2017). Photo-induced biosynthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of *Dunaliella salina* and their anticancer potential. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 166, 202-211.
- Swamy, M. K., Akhtar, M. S., Mohanty, S. K. & Sinniah, U. R. (2015). Synthesis and characterization of silver nanoparticles using fruit extract of *Momordica cymbalaria* and assessment of their in vitro antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity activities. *Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc* 151, 939-944.
- Tamboli, D. P. & Lee, D. S. (2013). Mechanistic antimicrobial approach of extracellularly synthesized silver nanoparticles against gram positive and gram negative bacteria. *J Hazard Mater*, 260, 878-84.
- Umaz, A., Koç, A., Baran, M. F., Keskin, C. & Atalar, M. N. (2019). *Hypericum Triquetrifolium Turra* Bitkisinden Gümüş Nanopartiküllerin Sentezi, Karakterizasyonu ve Antimikrobiyal Etkinliğinin İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9 (3), 1467-1475. doi: 10.21597/jist.533115.
- Xiong, Y., Huang, L., Mahmud, S., Yang, F. & Liu, H. (2020). Bio-synthesized palladium nanoparticles using alginate for catalytic degradation of azo-dyes. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 28(5), 1334-1343. doi:10.1016/j.cjche.2020.02.014.
- Yadi, M., Mostafavi, E., Saleh, B., Davaran, S., Aliyeva, I., Khalilov, R., Nikzamir, M., Nikzamir, N., Akbarzadeh, A., Panahi, Y. & Milani, M. (2018). Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46, 336-343.
- Yang, S. C., Lin, C. H., Aljuffali, I. A. & Fang, J.-Y. (2017). Current pathogenic *Escherichia coli* foodborne outbreak cases and therapy development. *Archives of Microbiology*, 199, 811-825. doi: 10.1007/s00203-017-1393-y